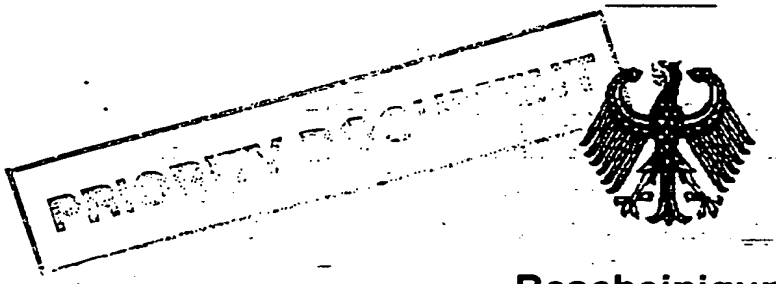
09/308478

PCT/DE 97/02600

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



REC'D 20 JAN 1998
WIPO PCT

Bescheinigung

Die Siemens Aktiengesellschaft in München/Deutschland hat eine Patentanmeldung unter der Bezeichnung

"Rechnergestütztes Verfahren zur Partitionierung einer elektrischen Schaltung"

am 18. November 1996 beim Deutschen Patentamt eingereicht.

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

Die Anmeldung hat im Deutschen Patentamt vorläufig das Symbol G 06 F 17/50 der Internationalen Patentklassifikation erhalten.

BEST AVAILABLE COPY

München, den 26. November 1997

Der Präsident des Deutschen Patentamts

Im Auftrag

Wallner

Aktenzeichen: 196 47 622.4

THIS PAGE BLANK (USPTO)

Beschreibung

Rechnergestütztes Verfahren zur Partitionierung einer elektrischen Schaltung

Bei der Schaltungssimulation sehr großer Schaltungen, d. h. von Schaltungen mit einer sehr großen Anzahl von Elementen ist eine serielle Bearbeitung, d. h. Ermittlung der Schaltungsgrößen durch einen Rechner sehr zeitaufwendig. Selbst sog. Vektorrechner, die in ihrem Betrieb sehr teuer sind, benötigen einen immensen Bedarf an Rechenkapazität und an Zeit zur Ermittlung der elektrischen Beschreibungsgrößen für eine Schaltung, die beispielsweise einige 100.000 Transistoren aufweist.

Zur Vermeidung der seriellen Durchführung einer Schaltungssimulation kann aus diesem Grunde die elektrische Schaltung in mehrere Teile aufgeteilt werden, die dann jeweils von verschiedenen Rechnern bzw. Prozessoren bearbeitet werden, was zu einer parallelen Durchführung der Schaltungssimulation führt.

Um jedoch eine möglichst gute Parallelisierbarkeit der Ermittlung der elektrischen Beschreibungsgrößen für die Elektroschaltung zu erreichen, ist es sehr vorteilhaft, folgende zwei Kriterien bei der Partitionierung der elektrischen Schaltung in mehrere Teile zu beachten. Es ist von erheblicher Bedeutung, daß alle gebildeten Partitionen der elektrischen Schaltung möglichst gleich groß sind, um dadurch den durch die Parallelisierung erzielbaren Effekt zu verstärken. Ist nämlich beispielsweise eine Partition um Größenordnungen größer als die restlichen Partitionen, so wird die Bearbeitung der wesentlich größeren Partition wiederum sehr viel rechenaufwendiger sein als die Bearbeitung der restlichen Partitionen. Ferner ist es bei der Partitionierung wichtig, daß zwischen den einzelnen Partitionen möglichst nur eine geringe Anzahl von Verbindungen besteht, da bei den bekannten Verfah-

ren zur "parellelisierten" Schaltungssimulation die benötigte Übertragungskapazität, d. h. die erforderliche Kommunikation zwischen den Rechner bzw. Prozessoren, die jeweils eine Partition bearbeiten, erheblich steigt mit steigender Anzahl von bestehenden Verbindungen zwischen den Partitionen.

Eine Sprache zur textuellen Beschreibung einer elektrischen Schaltung, welche durch einen Rechner verarbeitet werden kann, ist beispielsweise aus dem Dokument [1] als die Schaltungssimulationssprache SPICE bekannt.

Aus den Dokumenten [2] und [3] ist es bekannt, wie eine parallelisierte Schaltungssimulation durchgeführt werden kann, vorausgesetzt, es liegt eine beliebige Anzahl von Partitionen der elektrischen Schaltung vor. Die Art und Weise, wie die Partitionen ermittelt werden können, wird in diesen Dokumenten jedoch nicht beschrieben.

Aus dem Dokument [4] ist ein globales Partitionierungsverfahren auf der sog. Logikebene, welche auch als Gatterebene bezeichnet wird, bekannt.

Auf der Logikebene werden diskrete Ereignisse beschrieben, mit denen jedoch keine stetigen dynamischen Eigenschaften einer elektrischen Schaltung auf der sog. Transistorebene, also auf der eigentlich physikalischen Ebene der elektrischen Schaltung beschrieben werden können.

Somit sind die Ergebnisse einer Schaltungssimulation, die auf Logikebene erfolgt, für gewisse Anwendungen unsicher und ungenau, da auch ein genauer Zeitverlauf der elektrischen Signale, der in der elektrischen Schaltung auftritt, nicht berücksichtigt werden kann.

Ferner ist eine Beschreibung der einzelnen Gatter für die Schaltungssimulation notwendig, die erst auf beliebige Weise

ermittelt werden muß, bevor das Verfahren durchgeführt werden kann.

Somit liegt dem Verfahren das Problem zugrunde, ein Verfahren zur Partitionierung einer elektrischen Schaltung anzugeben, welches direkt die Elemente der elektrischen Schaltung auf Transistorebene berücksichtigt.

Das Problem wird durch das Verfahren gemäß Patentanspruch 1 gelöst.

Bei dem Verfahren wird die elektrische Schaltung auf einen Graphen abgebildet, der die gleiche Topologie wie die elektrische Schaltung aufweist. Die Kanten des Graphen werden mit Gewichtswerten gewichtet, die einen ungefähr erforderlichen Rechenaufwand zur Ermittlung elektrischer Beschreibungsgrößen für das jeweils durch die Kante repräsentierte Element der elektrischen Schaltung beschreiben. Eine Partition wird für die elektrische Schaltung in dem Graphen gebildet, indem zu Beginn des Verfahrens solange miteinander gekoppelte Kanten zu der Partition zusammengefaßt werden, bis die Summe der Gewichtswerte der zusammengefaßten Kanten größer ist als ein erster vorgebbarer Schwellenwert. Ist der erste Schwellenwert erreicht, wird jeweils die Partition dann um weitere restliche Kanten erweitert, wenn die Summe der Gewichtswerte aller Kanten, inklusive der neu eventuell hinzuzufügenden Kanten kleiner ist als ein vorgebbarer zweiter Schwellenwert und wenn die Anzahl von Kanten der Partition, die mit Knoten verbunden sind, die nicht innerhalb der Partition liegen, durch Hinzunahme der mindestens einen neuen Kante verringert wird.

Das Verfahren weist einige erhebliche Vorteile gegenüber dem aus dem Dokument [4] bekannten Verfahren auf.

Da das Verfahren direkt auf der Transistorebene der elektrischen Schaltung arbeitet, sind die durch das Verfahren erzielten Ergebnisse bei einer späteren Schaltungssimulation

unter Verwendung der auf die erfindungsgemäß ermittelten Partitionen erheblich genauer und verläßlicher.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

Es ist vorteilhaft, für vorgebbare Elemente der elektrischen Schaltung zu Beginn des Verfahrens festzulegen, daß die Elemente gemeinsam in eine Partition gruppiert werden. Durch diese Weiterbildung des Verfahrens wird es möglich sicherzustellen, daß beispielsweise bei gesteuerten Quellen sowohl die steuernden Elemente als auch die gesteuerte Quelle gemeinsam in einer Partition bearbeitet werden können. Ebenso ist es durch diese Weiterbildung möglich, Verbindungsschleifen in der elektrischen Schaltung, die lediglich mindestens eine Spannungsquelle und/oder mindestens eine Induktivität aufweisen, ebenso gemeinsam in einer Partition anzuordnen. Ferner wird es durch diese Vorgehensweise möglich, möglicherweise durch die Partitionierung entstehende Kurzschlüsse zu vermeiden.

Durch die Weiterbildung des Verfahrens, daß mehreren Kanten des Graphen ein gemeinsamer Gewichtswert zugeordnet wird, wird die Durchführung des Verfahrens durch einen Rechner weiter beschleunigt, da bei dieser Weiterbildung eine geringere Anzahl von Gewichtswerten im Rahmen des Verfahrens berücksichtigt werden müssen.

Ferner ist es vorteilhaft, mehrere Partitionen für die elektrische Schaltung zu bilden, für die Partitionen die entsprechenden Graphen der Partitionen wieder auf die elektrische Schaltung abzubilden und die entstehenden Partitionen der elektrischen Schaltung parallel auf verschiedenen Rechnern bzw. Prozessoren zu verarbeiten. Durch diese Parallelisierung wird eine Schaltungssimulation einer sehr großen Schaltung erheblich schneller durchführbar, als es bei einer rein „seriellen" Schaltungssimulation möglich ist.

Ferner ist es vorteilhaft, bei der parallelisierten Schaltungssimulation die Verarbeitung der einzelnen Partitionen zentral zu steuern. Auf diese Weise wird eine geregelte Schaltungssimulation mit möglichst geringem Kommunikationsaufwand realisiert.

Ferner ist es vorteilhaft, den einzelnen Anschlüssen der Partitionen, die mit Komponenten, die nicht in der Partition liegen, gekoppelt sind, zusätzlich mit einer Spannungsquelle und einem Wiederstand zu versehen, wobei der Spannungsquelle jeweils von einer zentralen Steuereinheit, die die parallelisierte Bearbeitung der Partitionen steuert, die elektrischen Randbeschreibungsgrößen zugewiesen werden. Durch den Widerstand, der jeweils in den Anschlüssen vorgesehen ist, wird die Konvergenz der Schaltungssimulation während der parallelisierten Schaltungssimulation gewährleistet, deren Wert durch die Steuereinheit dynamisch angepaßt wird.

In den Figuren ist ein Ausführungsbeispiel des Verfahrens dargestellt, welches im weiteren näher erläutert wird.

Es zeigen

Fig. 1 ein Ablaufdiagramm, in dem die einzelnen Verfahrensschritte des Verfahrens dargestellt sind;

Fig. 2 ein Skizze, in der verschiedene Weiterbildungen des Verfahrens dargestellt sind.

Elektrische Schaltungen, die eine sehr große Anzahl von Elementen aufweisen, können durch Aufteilung der Elemente, d. h. Partitionierung der Elemente in eine beliebige Anzahl von Partitionen und eine Bearbeitung der einzelnen Partitionen auf verschiedenen Rechnern bzw. Prozessoren, die eine Schaltungssimulation durchführen, parallelisiert werden. Damit

kann die Durchführung der gesamten Schaltungssimulation erheblich beschleunigt werden.

Damit jedoch die Parallelisierung möglichst optimal ausgestaltet ist, müssen die einzelnen Partitionen sorgfältig bestimmt werden.

Dabei ist es wichtig, zum einen auf eine ungefähr einheitliche Größe der Partition zu achten und zum anderen darauf zu achten, daß die einzelnen Partitionen keine zu große Anzahl von Anschlüssen "nach außen", beispielsweise Kopplungen mit mit anderen, nicht in der Partition liegenden Elementen aufweisen.

Elektrische Schaltungen liegen zur Bearbeitung im Rahmen einer Schaltungssimulation durch einen Rechner üblicherweise in einer Schaltungsbeschreibungssprache vor 101, beispielsweise in der sog. Sprache SPICE, welche in dem Dokument [1] beschrieben ist.

Das Verfahren ist jedoch in keinster Weise auf eine Beschreibung der elektrischen Schaltung in einer Schaltungsbeschreibungssprache und ebenso wenig auf die Verwendung der speziellen Schaltungsbeschreibungssprache SPICE beschränkt.

In einem ersten Verfahrensschritt 102 wird die elektrische Schaltung auf einem Graphen abgebildet, der die gleiche Topologie aufweist wie die elektrische Schaltung. Dies erfolgt beispielsweise ausgehend von der in der Schaltungsbeschreibungssprache SPICE vorliegenden elektrischen Schaltung. Der Graph weist entsprechend der Topologie der elektrischen Schaltung die entsprechenden Knoten auf. Die einzelnen Elemente der elektrischen Schaltung werden durch Kanten zwischen den Knoten des Graphen repräsentiert.

In einer Weiterbildung des Verfahrens ist es vorteilhaft, zu Beginn des Verfahrens einzelne Elemente der elektrischen

Schaltung zu markieren, d. h. für die entsprechenden markierten Elemente festzulegen, daß die markierten Elemente im weiteren Verfahren jeweils gemeinsam einer Partition zugeordnet werden. Es können verschiedene Markierungen verschiedene Elemente zu unterschiedlichen Partitionen zuweisen. Es ist auch vorgesehen, Elemente lediglich in einer Weise zu markieren, die derart von dem Rechner, der das Verfahren durchführt, interpretiert wird, daß die jeweils paarweisen Elemente einer Partition zugeordnet werden.

Dabei ist es vorteilhaft, beispielsweise folgende Spezialfälle einer elektrischen Schaltung zu berücksichtigen. Enthält eine elektrische Schaltung gesteuerte Quellen, beispielsweise gesteuerte Stromquellen oder gesteuerte Spannungsquellen, so ist es vorteilhaft, daß sowohl die steuernden Elemente als auch die gesteuerte Quelle für die spätere Schaltungssimulation gemeinsam in einer Partition enthalten sind.

Ferner ist es vorteilhaft, gekoppelte Induktivitäten ebenso jeweils einer gemeinsamen Partition zuzuordnen. Auch ist es wichtig, in einer Weiterbildung des Verfahrens zu berücksichtigen, daß durch die Partitionierung und deren algorithmische Verarbeitung mittels eines Rechners keinerlei Kurzschlüsse auftreten dürfen.

In einem weiteren Schritt 103 werden den Kanten Gewichtswerte G zugeordnet. Mit den Gewichtswerten G wird beschrieben, welcher Rechenaufwand ungefähr zur Ermittlung von elektrischen Beschreibungsgrößen für das jeweilige Element der elektrischen Schaltung, welches durch die Kante repräsentiert wird, der der Gewichtswert G jeweils zugewiesen wird, zu erwarten ist.

Ein Maß für den benötigten Rechenaufwand ist beispielsweise in der Anzahl der Codezeilen zu sehen, der zur Ermittlung der elektrischen Beschreibungsgrößen für das jeweils spezifische Element im Rahmen der Schaltungssimulation benötigt wird. Als

groben Maßstab ist hier anzumerken, daß die Ermittlung der elektrischen Beschreibungsgrößen für Transistoren erheblich größer ist als der Aufwand zur Ermittlung der elektrischen Beschreibungsgrößen für einen elektrischen Widerstand oder auch für eine Kapazität. Die Wahl der Gewichtswerte G ist jedoch äußerst unkritisch und stellt lediglich ein ungefähres Größenverhältnis des benötigten Rechenaufwandes dar. Es ist sogar ausreichend, beispielsweise einer Kante, die einen Transistor repräsentiert, einen hohen Gewichtswert G, z. B. den Gewichtswert G = 300 zuzuordnen und den Kanten, die einen Widerstand oder eine Kapazität repräsentieren, einen kleinen Gewichtswert, beispielsweise einen Gewichtswert G = 1 oder sogar einen Gewichtswert G = 0.

Unter elektrischen Beschreibungsgrößen sind in diesem Zusammenhang z. B. die entsprechenden Ströme und Spannungen eines Elementes der elektrischen Schaltung zu verstehen.

Eine im Anschluß durchgeführte erste Iterationsschleife enthält folgende Verfahrensschritte.

Es wird zu Beginn der ersten Iterationsschleife eine beliebige Kante des Graphen ausgewählt 104. Es ist jedoch ebenso in einer Variante des Verfahrens vorgesehen, in diesem Verfahrensschritt eine beliebige Anzahl miteinander gekoppelter Kanten des Graphen auszuwählen, wodurch die Anzahl der benötigten Iterationen in der ersten Iterationsschleife 105, 106, 107 erheblich reduziert wird. Zwei im weiteren beschriebene Verfahrensschritte 106, 107 werden ausgehend von der ausgewählten Kante bzw. ausgehend von der Menge ausgewählter Kanten solange durchgeführt, bis ein erster Summenwert SW1 größer ist als ein frei vorgebbarer ersten Schwellenwert S1.

Es wird für jeweils mindestens eine neue Kante, welche in der Menge berücksichtigter Kanten aus der letzten Iteration nicht enthalten war bzw. die zu Beginn der ersten Iterationsschleife in der ausgewählten Menge von Kanten nicht enthalten war,

der erste Summenwert SW1 gebildet. Der erste Summenwert SW1 wird beispielsweise durch Summation der Gewichtswerte G all der Kanten gebildet, die zur Bildung des ersten Summenwerts SW1 herangezogen werden 106.

Ist der erste Summenwert SW1 nicht größer als der erste Schwellenwert S1, ergibt sich eine Partition der elektrischen Schaltung aus den Kanten, die zur Bildung des ersten Summenwerts SW1 herangezogen wurden 107 und die Verfahrensschritte der ersten Iterationsschleife werden erneut, nunmehr mit der „neuen" Partition, durchgeführt.

Ist jedoch der erste Summenwert SW1 größer als der erste Schwellenwert S1, so wird die in dem zeitlich vorangegangenen Iterationsschritt gebildete Partition verwendet und es werden für die gebildete Partition Verfahrensschritte einer weiteren, zweiten Iterationsschleife durchgeführt.

Ausgehend von der jeweiligen Partition werden in jedem Iterationsschritt der zweiten Iterationsschleife folgende Verfahrensschritte für mindestens einen Teil von restlichen Kanten der elektrischen Schaltung durchgeführt 108. Unter einer restlichen Kanten ist in diesem Zusammenhang eine Kante zu verstehen, die nicht schon in der Partition selbst enthalten ist, und die mit einer Kante, welche in der Partition enthalten ist, gekoppelt ist, beispielsweise über einen Knoten in der Partition.

Es wird aus den Gewichtswerten der Partition und den Gewichtswerten von mindestens einer zusätzlichen restlichen Kante ein zweiter Summenwert SW2 gebildet 109. Dies erfolgt beispielsweise wiederum durch einfache Summation über die den entsprechenden Kanten zugeordneten Gewichtswerte G.

Nunmehr wird überprüft, ob der gebildete zweite Summenwert SW2 größer ist als ein frei vorgebbarer zweiter Schwellenwert S2, der größer ist als der erste Schwellenwert S1 110.

Ist der zweite Summenwert SW2 größer als der zweite Schwellenwert S2, so bedeutet dies, daß die Partition größer ist als ein vorgebbarer tolerierter Bereich. Durch den ersten Schwellenwert S1 und dem zweiten Schwellenwert S2 wird somit ein Toleranzbereich für die Größe bzw. für den maximalen tolerierbaren benötigten Bearbeitungsaufwand bei der Schaltungssimulation der jeweiligen Partition beschrieben.

Ist also der zweite Summenwert SW2 größer als der zweite Schwellenwert S2, so wird die entsprechende Kante nicht der Partition hinzugefügt 111.

Ist jedoch der zweite Summenwert SW2 nicht größer als der zweite Schwellenwert S2, so wird ferner für die mindestens eine restliche Kante überprüft, ob eine Anzahl von Kanten, die bei der Bildung des zweiten Summenwerts SW2 berücksichtigt wurden, welche mit Kanten gekoppelt sind, die bei der Bildung des zweiten Summenwerts SW2 nicht berücksichtigt wurden, kleiner ist als eine Anzahl von Kanten der Partition, die mit den restlichen Kanten gekoppelt sind 112.

Dieser Vergleich entspricht anschaulich der Anzahl von "Schnittstellen" jeder Partition mit einer anderen Partition bzw. mit einer im weiteren beschriebenen Zentralsteuereinheit oder auch mit einem weiteren, nicht in einer Partition enthaltenen Element der elektrischen Schaltung.

Wird also, anschaulich die Zahl der Anschlüsse für jede Partition durch Hinzufügen der mindestens einen restlichen Kante größer als die schon zuvor bestehende Anzahl von Anschlüssen der Partition, so wird die entsprechende Kante nicht hinzugefügt 113. Ist jedoch die neue Anzahl der Anschlüsse reduziert worden, so wird die entsprechende restliche Kante der Partition hinzugefügt 114. Ferner wird für diesen Fall der erste Summenwert SW1 für die nächste Iteration der zweiten Iterationsschleife mit dem Wert des zweiten Summenwertes SW2 belegt.

Die zweite Iterationsschleife wird für eine beliebig vorgebbare Anzahl von restlichen Kanten durchgeführt. Es ist in einer Weiterbildung des Verfahrens ebenso vorgesehen, als Abbruchskriterium für die zweite Iterationsschleife einfach die Information zu verwenden, ob alle restlichen Kanten in der zweiten Iterationsschleife berücksichtigt wurden. Ist dies der Fall, so wird bei dieser Weiterbildung die zweite Iterationsschleife beendet. Nach Abbruch bzw. Beendigung der zweiten Iterationsschleife wird die Partition, die in der letzten Iteration der zweiten Iterationsschleife gebildet wurde, als Partition der elektrischen Schaltung verwendet 116.

Unter Verwendung der ursprünglichen Beschreibung der elektrischen Schaltung, beispielsweise in der Schaltungsbeschreibungssprache SPICE wird die Partition in eine für den Rechner weiter zu verarbeitende Syntax, beispielsweise wiederum in die Schaltungsbeschreibungssprache SPICE abgebildet. Bei dieser Abbildung wird die Information der jeweiligen Partition für das jeweilige Element der elektrischen Schaltung beispielsweise durch Markierung des jeweiligen Elementes berücksichtigt.

Durch diese Rückabbildung 201 (vgl. Figur 2) entsteht also wiederum für den Spezialfall der Verwendung der Schaltungsbeschreibungssprache SPICE eine Liste mit den Schaltungselementen der elektrischen Schaltung sowie mit den Kopplungen und der jeweiligen Angabe der Partition, der das jeweilige Element zugeordnet wurde.

In einer Weiterbildung des Verfahrens ist es vorteilhaft, dieses Verfahren für eine beliebige Zahl von Partitionen durchzuführen, d. h. die elektrische Schaltung wird in eine beliebige Anzahl von Partitionen unterteilt. Bei dieser Weiterbildung entstehen entsprechend der Anzahl gebildeter Partitionen partitionsspezifische Listen mit den Elementen der elektrischen Schaltung in der Schaltungsbeschreibungssprache

SPICE 202. Eine in einer Weiterbildung des Verfahrens vorteilhafte Parallelisierung der Schaltungssimulation der elektrischen Schaltung wird nunmehr dadurch erreicht, daß die elektrischen Beschreibungsgrößen für die Elemente der elektrischen Schaltung für jede Partition separat ermittelt werden, wobei mindestens ein Teil der Partitionen parallel auf mehreren Rechnern und/oder Prozessoren bearbeitet werden kann. Dies entspricht einer Parallelisierung der Schaltungssimulation.

In einer Weiterbildung des Verfahrens ist es ferner vorgesehen, mehreren Kanten des Graphen einen gemeinsamen Gewichtswert zuzuordnen. Durch diese Vorgehensweise wird der benötigte Rechenaufwand reduziert.

Verfahren zur parallelisierten Schaltungssimulation auf verteilten Prozessoren, bzw. verteilten Rechnern sind beispielsweise aus dem Dokument [2] und [3] bekannt. Diese können ohne Einschränkung auf die durch das Verfahren gebildeten Partitionen angewendet werden.

Ferner ist es in einer Weiterbildung des Verfahrens vorgesehen, die parallele Verarbeitung der Partitionen über eine zentrale Steuereinheit ZS zentral zu steuern. Dies bedeutet beispielsweise, daß die Kommunikation der einzelnen Partitionen in dem Verfahren der Schaltungssimulation, wie sie in den Dokumenten [2] und [3] beschrieben ist, d. h. die Übermittlung von Daten lediglich zwischen der zentralen Steuereinheit ZS und dem Teil der Partitionen erfolgt, der zentral gesteuert wird.

In Fig. 2 ist die parallelisierte Verarbeitung durch eine Vielzahl von SPICE-Dateien SPICE.1, SPICE.2, SPICE.3 bis SPICE.N symbolisch dargestellt. In diesen SPICE-Dateien sind die einzelnen Beschreibungen der Partitionen in der Schaltungsbeschreibungssprache SPICE enthalten.

Es wird für die jeweilige Partition eine Schaltungsimulation durchgeführt 203, beispielsweise zentral gesteuert von der zentralen Steuereinheit ZS.

Ferner ist es in einer Weiterbildung des Verfahrens vorgesehen, mindestens einen Teil der Anschlüsse der jeweiligen Partition, welche im Rahmen der parallelisierten Schaltungssimulation bearbeitet wird, zusätzlich eine Spannungsquelle zuzuweisen, welcher jeweils im Rahmen der bekannten Verfahren von der zentralen Steuereinheit ZS ein entsprechender Wert zugewiesen wird. Zur Gewährleistung der Konvergenz des iterativen Verfahrens aus dem Dokument [2] und [3] ist es vorteilhaft, zumindest bei einem Teil der Anschlüsse der jeweiligen Partitionen zusätzlich einen Widerstand vorzusehen, dessen Wert von der Steuereinheit ZS dynamisch angepaßt wird.

Im Rahmen dieses Dokumentes wurden folgende Veröffentlichungen zitiert:

[1] I. Hoefer, H. Nielinger, SPICE Analyseprogramm für elektronische Schaltungen, Springer Verlag, Berlin, B, ISBN 3-540-15160-5, S. 7 bis 22, 1985

[2] U. Wever, Q. Zheng et al, Domain Decomposition Methods for Circuit Simulation, Proceedings of the 8th Workshop on Parallel and Distributed Simulation, PADS '94 Edinburgh, Scotland, UK, ZS, S. 183-186, Juli 1994

[3] U. Wever & Q. Zheng, Parallel Transient Analysis for Circuit Simulation, Proceedings of the 29th Annual Hawaii International Conference on System Sciences, ZS, S. 442 bis 447, 1996

[4] B. Riess et al, Partitioning Very Large Circuits Using Analytical Placement Techniques, Proceedings of the 31st ACM/IEEE Design Autmation Conference, S. 646 bis 651, 1994

Patentansprüche

1. Rechnergestütztes Verfahren zur Partitionierung einer elektrischen Schaltung,
- bei dem die elektrische Schaltung auf einen Graphen abgebildet wird, der die gleiche Topologie aufweist wie die elektrische Schaltung,
- bei dem Kanten des Graphen Gewichtswerte zugeordnet werden, mit denen ein erforderlicher Rechenaufwand zur Ermittlung von elektrischen Beschreibungsgrößen für Elemente der elektrischen Schaltung, die durch die jeweilige Kante repräsentiert werden, beschrieben wird,
- bei dem für miteinander gekoppelte Kanten ein erster Summenwert der Gewichtswerte der Kanten ermittelt wird, und in weiteren Iterationen jeweils der erste Summenwert gebildet wird unter Hinzufügen mindestens einer weiteren Kante, bis der jeweils ermittelte erste Summenwert größer ist als ein vorgebbarer erster Schwellenwert,
- bei dem durch die bei der Bildung des ersten Summenwerts berücksichtigten Kanten eine Partition des elektrischen Schaltung gebildet wird,
- bei dem für mindestens einen Teil der restlichen Kanten, die nicht in der Partition liegen und die mit mindestens einer Kante der Partition gekoppelt sind, folgende Schritte durchgeführt werden:
-- es wird ein zweiter Summenwert bestimmt, der sich aus der Summe des ersten Summenwerts und mindestens einem Gewichtswert mindestens einer restlichen Kante ergibt,
-- ist der zweite Summenwert kleiner als ein vorgebbarer zweiter Schwellenwert, und
-- ist eine Anzahl von Kanten, die bei der Bildung des zweiten Summenwerts berücksichtigt wurden, die mit Kanten gekoppelt sind, die bei der Bildung des zweiten Summenwerts nicht berücksichtigt wurden, kleiner als eine Anzahl von Kanten der Partition, die mit den restlichen Kanten gekoppelt sind, dann
-- wird die restliche Kante der Partition zugeordnet und dem ersten Summenwert wird der zweite Summenwert zugeordnet, und

- bei dem die Partition durch die bei der Bildung des zweiten Summenwerts berücksichtigten Kanten gebildet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1,
bei dem zu Beginn des Verfahrens eine Gruppierung von Elementen der elektrischen Schaltung durchgeführt wird, für die jeweils festgelegt wird, daß diese Elemente gemeinsam einer Partition zugeordnet werden.

3. Verfahren nach Anspruch 2,
bei dem bei der Gruppierung der Elemente der elektrischen Schaltung mindestens eine der folgenden Vorschriften angewendet wird:
- Elemente einer gesteuerten Quelle, mindestens ein steuerndes Element und die gesteuerte Quelle, werden in gemeinsam einer Partition zugeordnet;
- Verbindungsschleifen in der elektrischen Schaltung, die nur mindestens eine Spannungsquelle und mindestens eine Gegeninduktivität enthalten, werden in gemeinsam einer Partition zugeordnet,
- es dürfen keine Kurzschlüsse durch die Partitionierung entstehen.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
bei dem mehreren Kanten des Graphen ein gemeinsamer Gewichtswert zugeordnet wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
bei dem der Graph der Partition abgebildet wird auf die elektrische Schaltung, wobei die Partition die Elemente der elektrischen Schaltung aufweist entsprechend der durchgeführten Partitionierung.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
- bei dem mehrere Partitionen durch mehrfache Durchführung des Verfahrens gebildet werden, und

- bei dem die elektrischen Beschreibungsgrößen für die Elemente der elektrischen Schaltung für jede Partition ermittelt werden, wobei mindestens ein Teil der Partitionen parallel auf mehreren Rechnern und/oder Prozessoren bearbeitet wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6,
bei dem die parallele Verarbeitung der Partitionen zentral gesteuert wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7,
bei dem mindestens ein Teil der Partitionen in einer Weise zentral gesteuert werden, daß alle Anschlüsse der jeweiligen Partition nur mit einer zentralen Steuereinheit gekoppelt sind und somit eine Übermittlung von Daten nur zwischen der zentralen Steuereinheit und mindestens dem Teil der Partitionen erfolgt.

9. Verfahren nach Anspruch 8,
bei dem mindestens einem Teil der Anschlüsse der jeweiligen Partition zusätzlich eine Spannungsquelle zugewiesen wird, deren Wert während der Ermittlung der elektrischen Beschreibungsgrößen von der zentralen Steuereinheit vorgegeben wird.

10. Verfahren nach Anspruch 9,
bei dem mindestens einem Teil der Anschlüsse der jeweiligen Partition zusätzlich ein Widerstand zugewiesen wird.

Zusammenfassung

Rechnergestütztes Verfahren zur Partitionierung einer elektrischen Schaltung

Eine Partition einer elektrischen Schaltung wird gebildet, indem die elektrische Schaltung auf einem Graphen abgebildet wird (102) und den Kanten des Graphen Gewichtswerte zugeordnet werden (103). Die Gewichtswerte beschreiben einen erforderlichen Rechenaufwand zur Ermittlung von elektrischen Beschreibungsgrößen für das jeweilige durch die Kante repräsentierte Element der elektrischen Schaltung. In iterativen Verfahren wird überprüft, ob ausgehend von vorausgegangenen Iterationsschritten zusammen gruppierte Kanten eine Summe der Gewichtswerte der Kanten durch Hinzufügen einer weiteren Kante ein Summenwert zwischen einem ersten Schwellenwert und einem zweiten Schwellenwert liegt. Ist dies der Fall, so wird ferner überprüft, ob eine Anzahl von Anschlüssen der Elemente innerhalb der Partition mit Elementen außerhalb der Partition durch Hinzufügen neuer Kanten vergrößert wird. Ist dies nicht der Fall, so wird die jeweilige Kante in die Partition mit aufgenommen.

Sig. Fig. 1

FIG 1 1/2

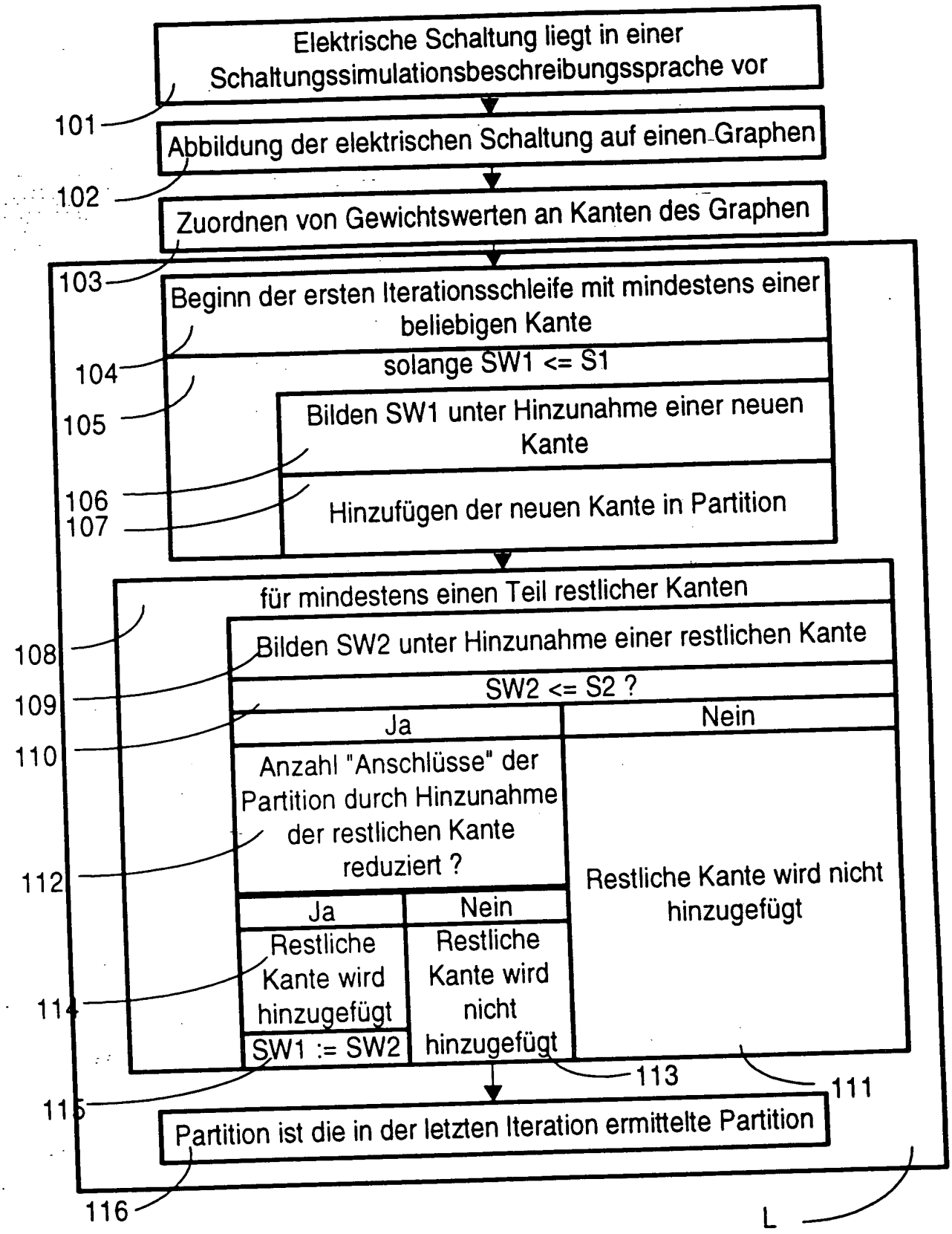
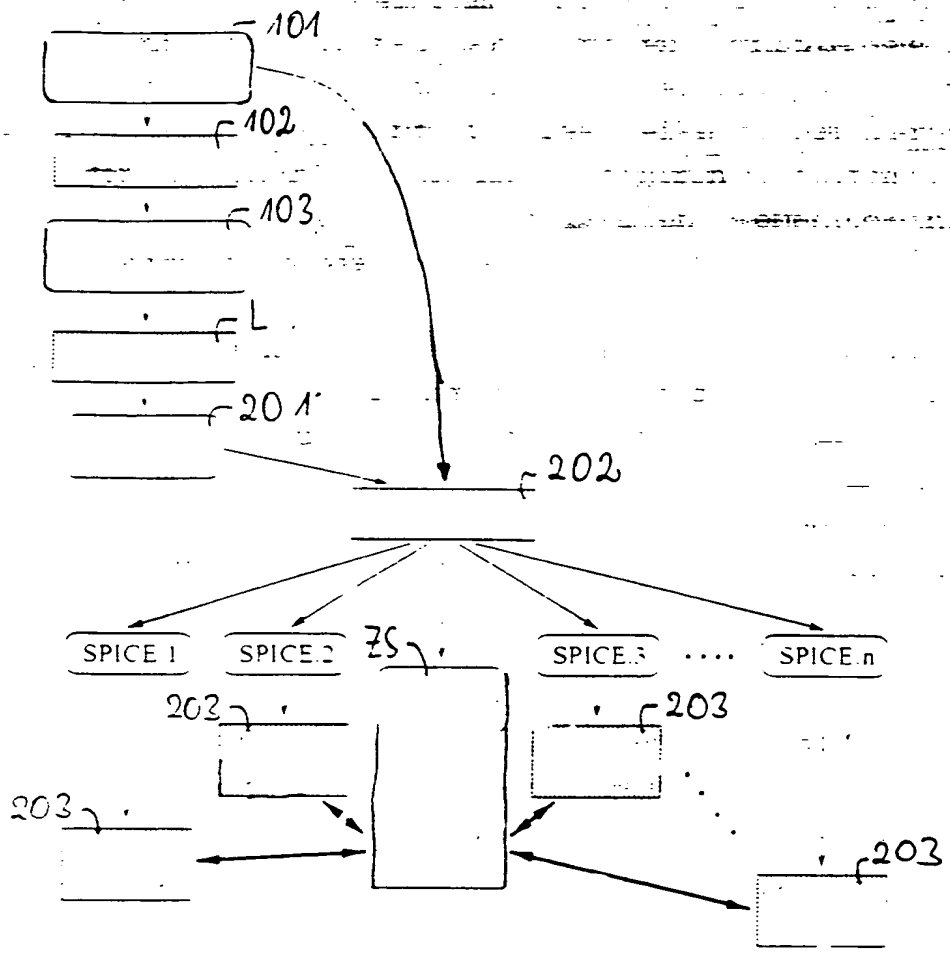

Elektrische Schaltung liegt in einer Schaltungssimulationsbeschreibungssprache vor
101
Abbildung der elektrischen Schaltung auf einen Graphen
102
Zuordnen von Gewichtswerten an Kanten des Graphen
103
Beginn der ersten Iterationsschleife mit mindestens einer beliebigen Kante
104
solange SW1 <= S1
105
Bilden SW1 unter Hinzunahme einer neuen Kante
106
Hinzufügen der neuen Kante in Partition
107
für mindestens einen Teil restlicher Kanten
108
Bilden SW2 unter Hinzunahme einer restlichen Kante
109
SW2 <= S2 ?
110
Ja
Nein
Anzahl "Anschlüsse" der Partition durch Hinzunahme der restlichen Kante reduziert ?
112
Restliche Kante wird nicht hinzugefügt
Ja
Nein
Restliche Kante wird hinzugefügt
114
Restliche Kante wird nicht hinzugefügt
SW1 := SW2
115
113
111
Partition ist die in der letzten Iteration ermittelte Partition
116
L

FIG 2 2/2


101
102
103
L
201
202
SPICE 1
SPICE.2
ZS
SPICE.3
SPICE.n
203
203
203
203

This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning Operations and is not part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.
As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)